

令和4年9月8日  
愛媛大学  
高輝度光科学研究センター

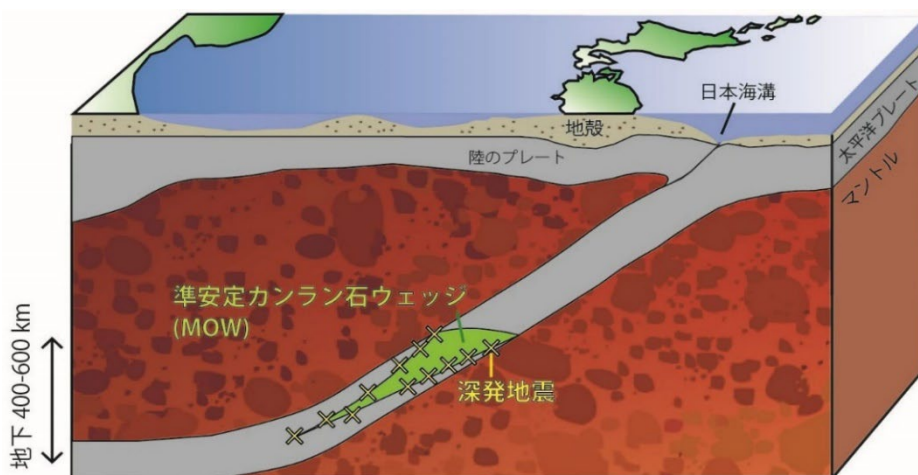
## 記者説明会のご案内（9月13日）

# 深発地震発生の新しいメカニズムを高温高圧下での地震発生モデル実験により提案

### 【ポイント】

- ・「深発地震」は多大な被害を引き起こすこともあるが、その発生メカニズムはよくわかっていなかった。
- ・世界で初めて、深発地震が発生する深さ約470kmまでの圧力（約16万気圧）条件下で、マントル鉱物（カンラン石）が変形・破壊する様子を、X線その場観察と微小破壊に伴う超音波（AE）測定により捉えた。
- ・この結果、特定の温度でカンラン石がナノ粒子化し、断層すべりを引き起こし、深発地震発生に至ることがわかった。また断層面では、2000℃をはるかに越える極めて高い温度が発生したことも確認された。
- ・深発地震は、準安定的に存在するカンラン石がナノ化する、沈み込むプレートの特定の場所でのみ発生することが示された。

本研究成果は、英国の科学雑誌「Nature Communications」に9月15日に掲載されます。



つきましては、下記のとおり記者説明会を実施しますので、ぜひご取材ください。

記

◇日時：令和4年9月13日（火）13時30分～

（説明会后、地球深部ダイナミクス研究センターの実験室をご案内いたします）

◇場所：愛媛大学理学部構内総合研究棟14階 共通会議室（裏面をご参照ください）

◇会見者：愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 准教授 大内智博

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 教授・センター長 入松徹男

本件に関する報道解禁は、論文公開に合わせた**令和4年9月15日（木）18時（日本時間）**となっていますので、ご協力をお願いします。

【本件に関する問い合わせ先】

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 准教授 大内 智博

電話：089-927-8159、E-mail：ohuchi@sci.ehime-u.ac.jp



記者説明会会場：愛媛大学理学部構内総合研究棟1 4階 共通会議室

地図内の赤枠で囲まれた建物です。4階におあがりください。

法文学部・教育学部・社会共創学部・理学部・工学部  
**城北キャンパス**

〒790-8577 松山市文京町3番 TEL 089-927-9000(代)

アイコン凡例

- 出入口
- 身体障害者用駐車場
- 駐車場
- 駐輪場
- 食堂・カフェ

キャンパス内全面禁煙

車の場合、このゲートからお入りください。ゲート横のインターフォンにて取材に来た旨をお伝えください。



【詳しい情報はこちらから】

愛媛大学生協



<https://ehimedas.com/shop/>

- A 生協ショップ ひめか
- B 愛大ショップ えみか
- C カフェテリア食堂 パルト
- D カフェテリア食堂 リーセス
- E カジュアルレストラン メイブル
- F ミュージウムカフェ
- G アクアカフェ
- G コスタ
- H テラシス



# 深発地震発生の新しいメカニズムを高温高圧下での地震発生モデル実験により提案

国立大学法人 愛媛大学

公益財団法人高輝度光科学研究センター

## 【今回の研究成果のポイント】

- ・「深発地震」は多大な被害を引き起こすこともあるが、その発生メカニズムはよくわかっていなかった。
- ・世界で初めて、深発地震が発生する深さ約 470 km までの圧力（約 16 万気圧）条件下で、マントル鉱物（カンラン石）が変形・破壊する様子を、X 線その場観察と微小破壊に伴う超音波（AE）測定により捉えた。
- ・この結果、特定の温度でカンラン石がナノ粒子化し、断層すべりを引き起こし、深発地震発生に至ることがわかった。また断層面では、2000℃をはるかに越える極めて高い温度が発生したことも確認された。
- ・深発地震は、準安定的に存在するカンラン石がナノ化する、沈み込むプレートの特定の場所でのみ発生することが示された。

## 【概要】

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターの大内智博准教授、入船徹男教授と高輝度光科学研究センターの肥後祐司研究員らの研究チームは、今まで不明だった深さ 400～600 km で発生する「深発地震」の発生原因の解明につながる実験に成功しました。深発地震が発生する地下条件に相当する高温高圧下での地震発生モデル実験によって、特定の温度（850℃周辺）のみにおいてカンラン石のナノ粒子化が進行し、このナノ粒子層への変形エネルギーの集中と部分的溶融が起きる結果、深発地震に至ることを明らかにしました。

本研究の結果は、長年謎に包まれていた深発地震の発生メカニズムの有力な説明になるとともに、深発地震の発生がプレート深部の特定の場所（「準安定カンラン石ウェッジ (MOW)」と呼ばれる領域の表面付近）に限定されることを意味しています。今後、そのような領域を継続的に監視することによって、深発地震の発生場所・発生頻度・規模などをモデル化するための手掛かりが得られるものと期待されます。本研究成果は、英国の科学雑誌「Nature Communications」

に9月15日に掲載されます。

### 【詳細】

私達が住む地表のプレート（厚さ約60 km）はゆっくりと流れるマントル<sup>※1</sup>に浮いているため、マントルの流れと一緒に移動します。プレート同士が衝突したり、プレートが地下深くへ沈み込む過程で地震が発生します。地震は、その震源位置の深さや場所によって分類されます。地表付近（地下10~40 km）で起きる浅い地震はプレートの境目や陸の直下で度々起きるため、津波を伴う地震や直下型地震を引き起こし、時にはマグニチュード8に達することもあるため大きな被害をもたらします。一方、『深発地震』は深さ300 km以深の沈み込むプレート内部で起きる地震ですが、その発生頻度は高くはありません。しかし発生した場合にはマグニチュード7クラスに達するケースが多い上、『異常震域』（震源から遠く離れているにもかかわらず強い揺れを観測する場所）を伴うといった特異な性質で知られています。また、深さとともに地震は起きにくくなるのが一般的ですが、深さ400~600 kmでは深発地震の発生頻度が例外的に高くなっていることも知られています。そのため、カンラン石<sup>※2</sup>（プレートの中で最も多い鉱物）の結晶構造が圧力によって変化することがきっかけとなって、『深発地震』が起きると考えられてきました。しかし深さ400~600 kmは13~20万気圧もの高圧環境下に相当するため、カンラン石を用いた再現実験は技術的に困難でした。

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）の大内智博准教授、入船徹男教授と、高輝度光科学研究センターの肥後祐司主幹研究员らの研究グループは、深発地震が多発する深さ390~470 kmのプレート内部に相当する温度圧力条件下（600~1100℃、13~16万気圧）でのカンラン石の変形実験<sup>※3</sup>を大型放射光施設 SPring-8<sup>※4</sup>のBL04B1にて行いました。この実験ではGRCで独自に開発した高圧力環境用の測定技術を用い、カンラン石試料を押しつぶした際に発生する『アコースティック・エミッション（AE）』<sup>※5</sup>という音波を検出することに成功しました。これは、実験中に試料の中に断層が形成されたこと、すなわち実際の深発地震が発生する温度条件下における実験での地震発生を人

工的に達成したことの証明になります。

実験試料の放射光 X 線による観察の結果、カンラン石が圧力効果<sup>※6</sup>によって結晶構造を変化させる際に、特定の温度（850℃周辺）ではナノ粒子<sup>※7</sup>からなる脆弱層を形成することが確認されました。変形のエネルギーがその脆弱層に局所集中することで、瞬間的にその部分が 2400℃もの非常に高い温度に達することでカンラン石が溶融し（図 1）、それに伴うカンラン石の強度低下の結果として断層形成と地震発生に至る（図 2）ことが明らかとなりました。

本研究の結果は、カンラン石の模擬物質<sup>※8</sup>を用いた先行研究による予測とも一致しているとともに、深発地震の発生がプレート深部の特定の場所（『準安定カンラン石ウェッジ（MOW）』と呼ばれる領域の表面付近：図 3）に限定されることを意味しています。MOW の存在は地震観測網によって捉えることができるため、その領域を集中的に監視することで、今後深発地震の発生場所・発生頻度・規模などをモデル化していく上での手掛かりが得られるものと期待されます。

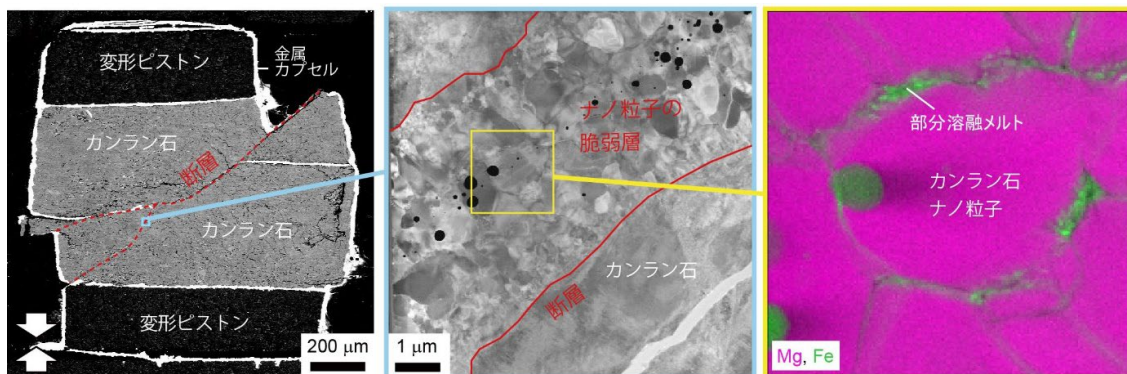


図 1. 15.5 万気圧、850℃の実験環境下にてカンラン石試料内に形成された断層。左側：試料全体の写真。試料を横断する断層（赤破線）が見られる。中央：カンラン石とワズレアイト（圧力によってカンラン石から結晶構造が変化した鉱物）のナノ粒子で充填された脆弱層で滑った断層。右側：脆弱層の拡大図。カンラン石のナノ粒子の粒間に鉄（Fe：緑色）に富んだ部分溶融メルトが見られる。

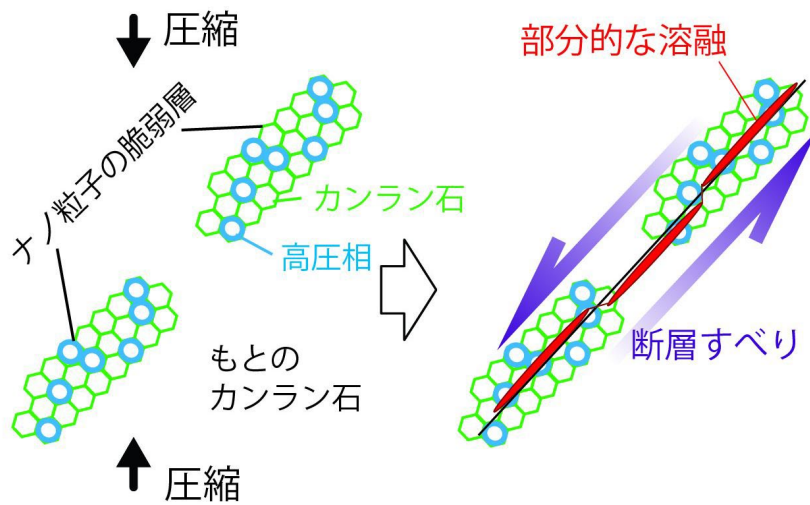


図 2. 深発地震の発生メカニズムの概要。左側：試料全体の写真。左側：13 万気圧以上の高圧力環境下でカンラン石が押しつぶされる際に、カンラン石のナノ粒子からなる脆弱層が形成される。右側：変形エネルギーが脆弱層に集中する結果、2400℃以上の高温が発生し、カンラン石が部分的に溶融することで断層すべりが引き起こされる。その結果、深発地震が発生する。

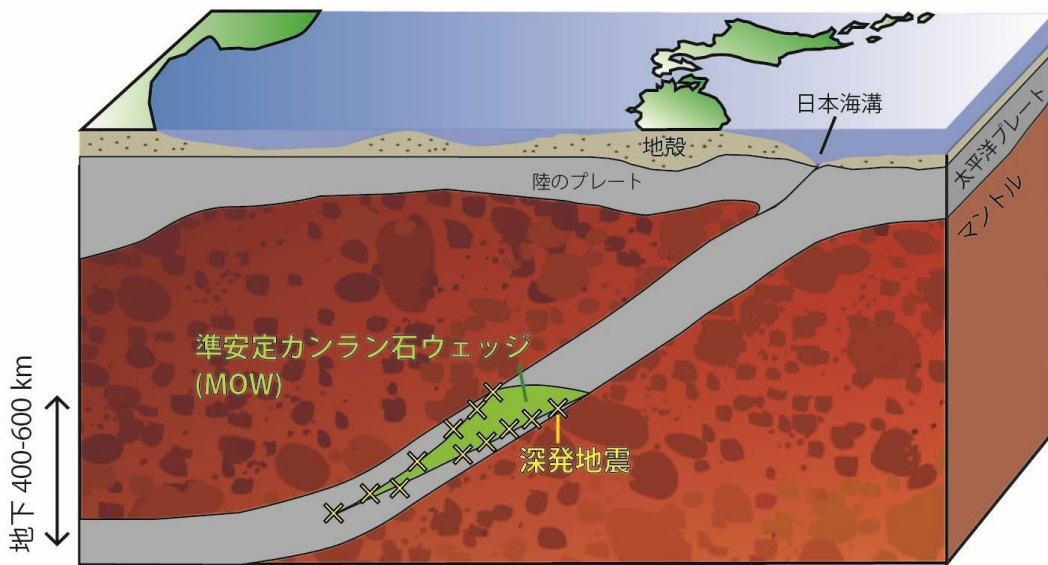


図 3. 日本列島下に沈み込むプレートと深発地震。マントル深部へと沈み込む太平洋プレートでは、深さ 400～600 km に達するとその内部に準安定カンラン石ウェッジ (MOW) が形成される。本研究の結果より、深発地震の発生は MOW の表面付近に限定されることが予想される。

## 【用語解説】

### マントル(※1) :

マントルは最主要構成鉱物の種類に対応して、上部マントル（深さ約 60～410 km）、マントル遷移層（410～660 km）、下部マントル（660～2900 km）の3つの領域に区分される。上部マントルは我々が住むプレートの下に位置するため、上部マントルの流れがプレート移動の原因となる。

### カンラン石(※2) :

カンラン石は上部マントル及びプレートの最主要構成鉱物であり（6～7割を占める）、その化学組成は  $Mg_{1.8}Fe_{0.2}SiO_4$  で表される。マントル遷移層では、同じ化学組成をもつが結晶構造が異なるワズレアイトやリングウッドイトに変化する。

### 変形実験(※3) :

マルチアンビル型高圧発生装置の一種である、D-DIA 型変形装置を用いて行う。6つのアンビルを大型のプレスで加圧し、中心に置かれた試料に高圧力を発生させたうえに、その試料を変形させる機能をもつ。放射光を用いることにより、試料にかかる圧力、差応力、歪を測定することができる。

### 大型放射光施設 SPring-8(※4) :

兵庫県の播磨科学公園都市にある世界最高性能の放射光を生み出す理化学研究所の施設で、利用者支援などは高輝度光科学研究センターが行っている。SPring-8 の名前は Super Photon ring-8GeV に由来。放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、電磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波のこと。

### アコースティック・エミッション (AE) (※5) :

微小破壊音とも呼ばれる。クラックが成長する際に放出される弾性波のことであり、一般的には 50 kHz～5 MHz の範囲の周波数をもつ。高温高圧環境下にお

いてクラックを直接観察するのが困難なため、AE が検出されれば、発生源にクラックが存在することの強い証拠となる。自然地震との共通点も多いことから、実験室における“ミニ地震”と呼ばれることもある。

#### 圧力効果(※6) :

カンラン石は、特定の圧力に達すると結晶構造を変化させて別の鉱物となる。マントル遷移層 (410~660 km) ではワズレアイト、下部マントル (660~2900 km) ではリングウッドイトとなる。

#### ナノ粒子(※7) :

高温高圧環境下では、鉱物のサイズが 100 nm (1 mm の 1 万分の 1) 程度かそれ以下となると、超塑性などの特殊な変形メカニズムが起きやすくなるため、ナノ粒子からなる箇所は強度が低下しやすくなる。

#### 模擬物質(※8) :

先行研究では、ゲルマニウムオリビンという物質 (化学組成は  $Mg_2GeO_4$ ) を用いてきた。カンラン石のシリコン (Si) をゲルマニウム (Ge) で置き換えた物質であり、その結晶構造はカンラン石のものに類似する。比較的容易に発生可能な圧力範囲である 1~2 万気圧にて結晶構造がリングウッドイトに類似したものへと変化する特徴をもつ。

### **【論文情報】**

掲載誌 : Nature Communications

題名 : In situ X-ray and acoustic observations of deep seismic faulting upon phase transitions in olivine (和訳 : **カンラン石の相転移によって起きる深部断層すべりを放射光その場観察実験によって再現**)

著者 : Tomohiro Ohuchi (大内智博) , Yuji Higo (肥後祐司) , Yoshinori Tange (丹下慶範) , Takeshi Sakai (境毅) , Kohei Matsuda (松田光平) , Tetsuo Irifune (入舩徹男)



DOI : 10.1038/s41467-022-32923-8

### 【研究サポート】

日本学術振興会科学研究費補助金 課題番号 : 16H04077, 18K18788,  
19H00722

### 【問い合わせ先】

(研究に関すること)

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター 准教授 大内 智博

電話 : 089-927-8159、E-mail : ohuchi@sci.ehime-u.ac.jp

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター センター長・教授 入船 徹男

電話 : 089-927-9645、E-mail : irifune@dpc.ehime-u.ac.jp

高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター

回折・散乱推進室 主幹研究員 肥後 祐司

電話 : 0791-58-0802(ext.3721)、E-mail : higo@spring8.or.jp

(愛媛大学に関すること)

愛媛大学総務部広報課

E-mail: koho@stu.ehime-u.ac.jp、Tel : 089-927-9022

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター (GRC)

E-mail: grc@stu.ehime-u.ac.jp、Tel : 089-927-8165

(SPring-8 に関すること / SACLA に関すること)

公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) 利用推進部 普及情報課

E-mail: kouhou@spring8.or.jp、Tel: 0791-58-2785